

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-190265

(P2000-190265A)

(43) 公開日 平成12年7月11日 (2000. 7. 11)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード\* (参考)

B 2 5 J 11/00

B 2 5 J 11/00

Z

9/06

9/06

E

B 6 4 G 1/24

B 6 4 G 1/24

Z

審査請求 未請求 請求項の数6 F D (全 18 頁)

(21) 出願番号

特願平10-375888

(22) 出願日

平成10年12月21日 (1998. 12. 21)

(71) 出願人 000119933

宇宙開発事業団

東京都港区浜松町2丁目4番1号

(72) 発明者 若林 靖史

茨城県つくば市千現2丁目1番1号 宇宙

開発事業団筑波宇宙センター内

(72) 発明者 稲場 典康

茨城県つくば市千現2丁目1番1号 宇宙

開発事業団筑波宇宙センター内

(74) 代理人 10008/273

弁理士 最上 健治

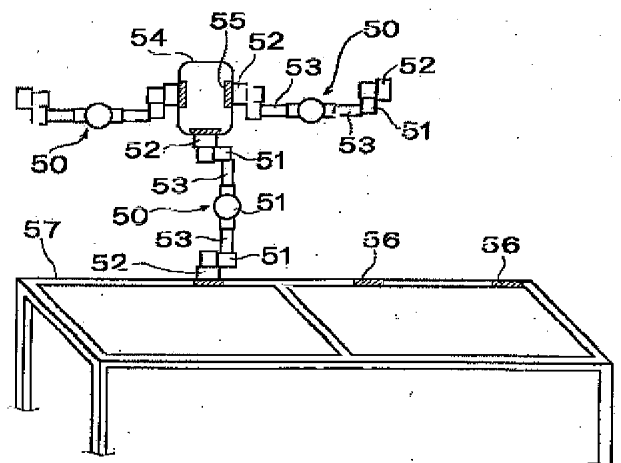
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システム

(57) 【要約】

【課題】 宇宙で作業を行う小型の多肢マニピュレータシステムとしてシステム構成を行うことが可能な再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムを提供する。

【解決手段】 関節部51を配設した2個のブーム53と、該ブーム53の他端に関節部51を介して配設したエンドエフェクタ52とからなるリンク構成の3本のアーム50を、エンドエフェクタ52を介してロボット中心部54の結合ポート55に結合し、前記ブーム53内には関節駆動回路、ワイヤーハーネスおよび関節制御、ロボット全体の関節協調制御・操作監視・システム管理等を行う分散型制御計算機を配置し、前記エンドエフェクタ52には操作指、テレビカメラ、コネクタ等を装備して、3肢型マニピュレータ・システムを構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 低重力下での様々な宇宙作業を行うための再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムであって、システム構成要素が同じ構造であるマニピュレータアームの複数個からシステムが構成され、1つのマニピュレータアームが1台のロボットとして機能すると共に、複数個のマニピュレータアームを相互に結合することで形態を変え1台または複数台のロボットとして機能するようにシステム構成することを特徴とする再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システム。

【請求項2】 請求項1に記載の再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムにおいて、前記マニピュレータアームは、複数の関節を中空のブームにより結合したアームと、前記アームの両端に備えられ操作指と電気的結合部を有するエンドエフェクタと、前記中空のブームの内部に備えられた高速シリアル通信処理およびロボット制御を行う分散計算機とを備え、前記分散計算機は、ロボットシステム全体の協調制御、他のマニピュレータの監視を行う監視処理、高速通信回線のための通信制御処理を行い、複数個のマニピュレータアームから構成されるマニピュレータとしてシステム構成されたロボット形態に応じて、機能を変化させたロボット制御の中核的な計算を行い、形態によっては知覚データ処理やデータ中継を行うことを特徴とする再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システム。

【請求項3】 請求項1に記載の再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムにおいて、マニピュレータアームは、各アームの両端に、基本的に1自由度の操作指と電気的結合コネクタとを有するエンドエフェクタを備え、エンドエフェクタは操作対象物への操作機能を有し、宇宙機上やロボットシステム上に用意された専用ポートを把持することで他のマニピュレータアームと電気的および機械的に結合されることを特徴とする再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システム。

【請求項4】 請求項1に記載の再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムにおいて、マニピュレータアームは、アームの関節が、小型モータと出力余裕のある駆動回路を備え、関節機能として、定常力は小さいが瞬時力の大きな小型関節とし、短時間に比較的大きな操作力を発揮するように構成されていることを特徴とする再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システム。

【請求項5】 請求項1に記載の再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムにおいて、前記マニピュレータアームは、複数の関節を中空のブームにより結合したアームと、前記アームの両端に備えられ操作指と電気的結合部を有するエンドエフェクタと、前記中空のブームの内部に備えられた高速シリアル通信処理およびロボット制御を行う分散計算機とを備え、前記エンドエフェクタは、ロボット用に専用のインタフ

ェースを持った操作対象物を当該エンドエフェクタの操作指の内力操作により操作し、エンドエフェクタの操作指は、操作時に発生する力トルクがアームに伝わらない機構であることを特徴とする再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システム。

【請求項6】 請求項1に記載の再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムにおいて、前記マニピュレータアームは、複数の関節を中空のブームにより結合したアームと、前記アームの両端に備えられ操作指と電気的結合部を有するエンドエフェクタと、前記中空のブームの内部に備えられた高速シリアル通信処理およびロボット制御を行う分散計算機とを備え、前記エンドエフェクタには、専用ポートまたは専用操作物に備えられた計測用小型マーカを計測する広被写界深度の小型カメラを備えることを特徴とする再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、複数のアームを作業形態に応じて結合してマニピュレータを構成する再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムに関し、更に、詳細には、宇宙で作業を行うための小型（1肢伸長が数10cm～3m程度）の多肢型マニピュレータ・システムとしてシステム構成を行うことが可能な再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来から、産業ロボットと異なり、宇宙での作業のためロボットとして、宇宙用ロボットが開発されている。このような宇宙用ロボットには、衛星軌道上で飛行している宇宙機の各種のサービスを行う軌道上ロボットや月惑星表層で各種の計測等を行う探査ロボットがある。宇宙用ロボットは、今後の宇宙活動において、無人宇宙活動の支援、有人宇宙活動での支援、宇宙探査などの各ミッションで様々な作業を遂行させることが期待されている。これまでに開発された宇宙用ロボットには、次のようなものがある。

【0003】既に開発されたもの、開発中のものとしては、図1に示すようなスペースシャトル用の Shuttle-RMS（カナダ）のロボットアーム100、図2に示すような宇宙ステーション用の JEMRMS (Japanese Experimental Module Remote Manipulator System : 日本) などがある。図2において、201は補給部与圧区、202はマニピュレータ、203は精密作業用ロボットアーム、204は補給部曝露区、205はエアロック、206は曝露部、207は与圧部である。このようなロボットアームにおいては、専用把持部（数10cm）を備えており、宇宙空間において、物体を移動させたり、静定・浮遊している衛星を捕獲する作業を行うものである。

【0004】また、図3に示すように、宇宙ステーション用のSSRMS (Space Station Remoter Manipulator System; 米国・カナダ) のように、専用の移動ボートを渡り歩いたり、レール上を移動し、上述の作業を行うものもある。図3において、301は宇宙ステーション、302はモビルトランスポーター、303はモビル・リモート・サービス・ベース・システム、304は宇宙ステーション・リモート・マニピュレータである。これらは、10m規模のクレーン型マニピュレータを持つシステムである。

【0005】また、やや小型の2～5m規模の単腕・複腕マニピュレータを持つシステムとしては、図4に示すように、「ETS-VII」マニピュレータ (日本) のアームハンドカメラ403およびアームモニターカメラ402を持つロボットアーム401や、図3の参照番号305に示すように、宇宙ステーション用のSPDM (カナダ) のロボットアーム、図2の参照番号203に示すようなJEMRMS子アームなどがある。これらは、専用把持部 (数～10数cm) を備えた小型の操作物体を扱うことを目的としているものである。

【0006】これまでに、研究・実験されてきたものには、宇宙飛行士が行うべき船外での曝露空間 (以下EVAと略称する) 作業の代行を目指して開発されてきたもののや、開発が中断されたFTS (Flight-Telerobotic-Servicer; 米国) や、船内与圧空間 (以下IVAと略称する) 作業での宇宙実験に係るルーチン作業の代行を目指し開発され、シャトルで飛行実験を行ったマニピュレータ型ではないロボットのCharlotte (米) などがある。

【0007】更に、より基礎的な研究レベルでは、衛星軌道上での飛行中にロボット構成要素を交換したり、再構成したりできるモジュール構成型や、障害物を回避しながら操作位置まで到達できる多自由度のスネーク

(蛇) 型、また、搭乗員の作業性を充分確保するように作られているIVA作業およびEVA作業に適した人間型などがある。

#### 【0008】

【発明が解決しようとする課題】ところで、今後の宇宙ロボットの研究の一つの重要なターゲットは、現在、有人システムにおいて搭乗員が行っているIVA作業およびEVA作業の一部を代行するロボットや、軌道上作業機や太陽光発電プラットフォームなどの無人システムでの作業を行うロボットである。IVAロボットでは、宇宙実験装置のメータのモニタやスイッチの入切の作業、実験試料カセットの交換などの作業を行うロボットである。EVAロボットでは、これまでの操作対象物の交換作業 (精度～10mm以上) やEVA-Crewの作業補助を中心とした作業の機能提供から、より精細な (精度～数mm) で、作業クリアランス (ロボットが作業を行うために要する空間領域) が小さく、船内・船外にお

いて、保守点検・宇宙実験・組立分解などの遂行・支援の作業を行うことが所望される。

【0009】更には、無人プラットフォームの作業においては、システムの組立・配線・調整・分解やシステム保守作業などを行えることが所望される。これらの作業のためのロボットとして、備えるべき機能は、作業範囲の拡大のための移動機能、再構成機能、複腕操作機能、高精度作業のためのハンド (器用な指) 機能など、作業能力を高めるたロボットアームである。

【0010】しかし、これまでは、実際に役立つ有効な宇宙ロボットシステムを実現させるために、次に示すような多面的な観点の要求を満たす具体的な構成技術がなかった。ロボットシステムの設計では、ロボットを導入することによるユーザ側のシステム・ペナルティを最小化 (低コスト化・軽量化・収納性・耐故障性・信頼性・稼働性・ロボット専用特殊インタフェースの簡潔化) して、運用性の向上 (安全性・確実性・効率性・容易性) を図りつつ、これを損なわずに必要なかつ可能なレベルでの器用さと、多機能性とを備えた総合的システム設計を行うことが重要となる。

【0011】これまでに、開発されているロボットシステムの技術としては、動作範囲を拡大するために専用ボートを渡り歩く機能、多自由度シリアルリンクによるスネーク機能、モジュール構成による再構成機能・修理機能などの個別の要素の技術があるが、このような個別の要素の技術だけでは、具体的に有効な宇宙ロボットシステムを構成することはできない。

【0012】次に、具体例によりその多面的な課題の問題点を説明する。例えば、EVAロボットで、EVA-Crew (船外作業員) と同等の力を持たせようすると、関節トルクは数十Nmが必要となる。関節部分は、現状のモータ技術では10数cm径、～数kgのものとなり、マニピュレータとしては重量が～50kg超、長さが～1m強となり、広い作業クリアランスを必要とする。双腕では作業性が更に劣化する。

【0013】例えば、従来のロボットシステムで、作業範囲を拡大するために、専用ボート等を渡り歩く機能を持たせようすると、専用ボートのインタフェース結線 (100本以上を必要としている) や基台部機構が大がかりなものとなり、宇宙機側の負担は極めて大きくなる。

【0014】例えば、従来の宇宙ロボットの手先精度は5～10mm程度であるが、より精細な作業を行わせようとして、2～3mmの絶対位置再現精度を持たせるためには、広い温度範囲での動作・保存を前提とする宇宙用のマニピュレータとすると、その場合、アーム長を数10cm程度に短くするか、関節部分において能動的な熱制御系を導入せざるを得ない。

【0015】また、例えば、信頼性を向上させようと冗長の多重巻き線関節を使用したり、駆動アンプの「N

out of M ( $N < M$ ) 冗長方式」(これは代替可能なM個のアンプを切り替えながらN個のモータを駆動する冗長方式)を採用する方法もあるが、要素の複雑化と重量・サイズ増となり、機能性の低下と運用の複雑化を招くことになる。

【0016】また、関節部分などを交換可能なモジュール構成として、軌道上交換を行い信頼性・稼動性を向上させようとしても、適切に設計されなければ、モジュール化のための結合機構インタフェースが多くなり、より複雑化してしまう。

【0017】同様に、作業性の向上と信頼性の向上のために、マニピュレータを多自由度化(7自由度以上)すると、重量増・高価格化を招き、更に、単一故障の発生で、故障形態によっては大部分の機能が失われることもあり、縮退的機能維持システム(故障発生に応じてできるだけ多くのシステム機能が残存するシステム)とすることができるとは一概に言えない。

【0018】つまり、汎用的な作業能力や信頼性を高めようと、必要な機能要求に応じて単純にロボットを設計してゆくと、どうしても複雑なシステムとなり、高価格化、信頼性の低下、ロボットのサイズ・重量の増大に繋がり、結果として有効なシステム構成にはならないという問題がある。

【0019】更に、宇宙ロボットの開発には、高額な開発費用と数年の開発期間が必要となるため、一つのロボットシステムを開発・運用することで蓄積される技術は、できる限り次期ロボットの開発に継承できることが重要であり、更に、10年等の長期に運用される宇宙システムでのロボットは、進展するロボット関連の要素技術を取り込んで、システムを更新していけるような発展性を持ったシステムであることが所望される。

【0020】宇宙ロボットは、このような観点を満たすように総合的に設計されることが期待されているものの、これまでは、このような課題を総合的に満たすものは提示されなかった。

【0021】したがって、本発明の目的は、宇宙で作業を行う小型の多肢マニピュレータシステムとしてシステム構成を行うことが可能な再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムを提供することにある。

【0022】

【課題を解決するための手段】このような目的を達成するため、本発明による再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムは、システムを構成するため基本概念として、(1)従来の産業用ロボットを単に宇宙に持ち上げたようなシステム構成方法をやめて、(2)低重力という宇宙の利点を生かした簡素で軽量・微力な関節と内力操作による小型・軽量アームを備え、(3)柔軟性の許容と相対精度の向上をはかり、(4)自動機械としての操作と対話型操作のためのスマートな知覚を備え、

(5)移動・再構成・操作作用を兼ねたエンドエフェクタ

を備え、(6)高性能組込み計算機と高速シリアル内部通信バスによる分散制御を行うことによりワイヤハーネスの低減(軽量化)をはかり、(7)オンボード監視系を持たせた運用性の確保などの要素技術を取り入れることとする。そして、(8)高信頼性化に関しては、器用さと冗長化が両立し難いとの考えから、冗長性のない簡素な要素で構成された同じマニピュレータの複数でマニピュレータシステムを構成し、複数のアームが再構成されることによりシステムの信頼性を確保することにした。

【0023】このため、本発明による再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムは、低重力下での様々な宇宙作業を行うための再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムであって、第1の特徴として、基本的にシンプルな同じ構造のシステム構成要素のマニピュレータ(アーム)の複数個からシステムが構成される。1つのアームは1台のロボットとして機能すると共に、相互に結合することで形態を変えて1台または複数台のロボットとしても機能するように構成する。

【0024】このような特徴を有することにより、1台のアーム内部に従来のような内部冗長を多用することなく、複数のシンプルな構成のアームによってシステムを構成することにより信頼性向上の機能要求に応えることができる。更に、既に宇宙に配備したシステムに対して、共通(下位互換)インタフェースを備えた高性能なアームを地上から補給して、交換・追加することによりシステム全体の維持を行い、高性能化を図ることができる。

【0025】また、宇宙ロボットの開発には、高額な開発費用と数年の開発期間が必要となるので、一つのロボットシステムを開発・運用することで蓄積される技術は、できる限り次期ロボットへと継承できることが重要であり、更に10年等の長期に運用される宇宙システムでのロボットは、進展するロボット関連の要素技術を取り込んでシステムを更新していけるような発展性を持ったシステムであることが望ましい。本発明によるシステム構成によれば、複数台のロボットを作業の遂行や相互監視のために協調的に使うことは、人間への負担が大きい宇宙では特に有効である。本発明によるシステムはこれを容易に実現する。

【0026】例えば、信頼性を向上させようとする場合に、冗長の多重巻き線関節を使用したり、駆動アンプの「N out of M ( $N < M$ ) 冗長方式」(代替可能なM個のアンプを切り替えながらN個のモータを駆動する冗長方式)を採用する方法があるが、システム構成要素の複雑化と重量・サイズ増となり、機能性の低下と運用の複雑化を招く。また、関節などを交換可能なモジュール構成として、軌道上交換を行い信頼性・稼動性を向上させようとしても、適切に設計されなければ、モジュール化のための結合機構インタフェースが多くなっ

て、より複雑化してしまう。同様に、作業性の向上と信頼性の向上のためにマニピュレータを多自由度化（7自由度以上）すると、重量増・高価格化を招き、更に、単一故障の発生で、故障形態によっては大部分の機能が失われることもあり、縮退的機能維持システム（故障発生に応じて、できるだけ多くのシステム機能が残存するシステム）とすることができるとは一概に言えない。つまり、汎用的な作業能力や信頼性を高めようとして、機能要求に応じて単純にロボットを設計していくと、複雑なシステムとなり、高価格化、信頼性の低下、ロボットサイズ、重量の増大に繋がり、結果として有効なシステムにならない。上記のような特徴による本発明のシステム構成によれば、これらが解決される。

【0027】また、本発明による再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムは、第2の特徴として、アームのブーム内部に高速シリアル通信機能付きの分散計算機を備えており、ロボットシステム全体の協調制御や他のマニピュレータの監視を行う処理の計算を行うと共に、高速通信回線のための処理計算を行う。この分散計算機は、複数アームのマニピュレータとして構成されたロボット形態に応じて機能を変化させ、ロボットの中核的な計算を行う計算機になったり、形態に依っては知覚（画像・振動・力覚等）のデータ処理やデータ中継計算機となるものである。

【0028】また、本発明による再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムは、第3の特徴として、各アームの両端に、基本的に1自由度の（一つのモータで駆動される）操作指と電気的結合コネクタを有するエンドエフェクタを備えており、このエンドエフェクタにより、操作対象物への操作機能を有するものとしている。また、このエンドエフェクタは、宇宙機上やロボットシステム上に用意された専用ポートを把持することによって電気・機械的に結合することができるものである。電気的結合のための線数は、分散計算機により処理された高速通信回線を用いることにより極めて少なくなる。具体的には10～30本程度に少なくなる。

【0029】このような特徴を備えることにより、ロボットシステムの再構成や専用ポート上の歩行（伝い歩き）を容易に実現できる。更には、例えば、移動ポートのない組立途中の宇宙機上を渡り歩くために必要となるロボット制御システムの自律化を実現することができる。

【0030】これは、例えば、従来型のロボットシステムにおいて作業範囲を拡大するために専用ポート等を渡り歩く機能を持たせようすると、専用ポートのインタフェースの結線（従来100本以上）や基部機構が大がかりなものとなり、宇宙機側の負担は極めて大きくなる。これに対して、今後の宇宙ロボットには、軌道上での点検作業を行うための赤外線カメラ、3Dカメラ、高倍率カメラ、振動計などの特殊センサ・ヘッドなど、様

々な宇宙実験（材料系・生命系等）のための実験用ヘッドを先端部に装備させることが想定されるが、上述のように、このような機器（ペイロード）システムも上記の共通インタフェースとすることで、ロボット全体をシンプルにできる。

【0031】本発明による「分散計算機」と「省配線型高速内部通信システム」の組み合わせ技術は、基本概念は最近のFA（Factory Automation）システムや研究ロボットでも用いられているが、本発明によるシステム構成の基本として、まず、再構成と歩行移動システムを容易に具現するために省配線システムとしている。更に、ドッキングした複数の宇宙機間の移動、死んだ宇宙機や組立途中の宇宙機上を渡り歩く機能を実現するためには、専用の移動ポートではない箇所（例えば、ハンドレールやトラス）を伝って目的の場所に移動することが要求されるが、これに対して、本発明では、ロボットアームの内部に分散配置された分散計算機により各ロボットを自律化させることにより、この機能を実現させている。この場合には、バッテリーの内蔵が必須であり、場合によっては近傍のエアリンク通信を用意することが必要となるが、これは簡単な付加機能であり、公知の技術によって実現可能である。

【0032】また、本発明による再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムは、第4の特徴として、アームの関節は、小型モータと出力余裕のある駆動回路を備えている。このアームの関節は、定常力（連続出力）は小さいが、瞬時力（～数秒）の大きな小型関節であり、小型でありながら短時間ならば比較的大きな操作力を発揮することができるように構成されている。この特徴により、ロボットの小型軽量化と、作業クリアランスの低減、および良好な作業性を実現できる。

【0033】また、本発明による再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムは、第5の特徴として、ロボット用に専用のインタフェースを持った操作対象物が、エンドエフェクタ指の内力操作により操作できるように設計されている。このエンドエフェクタの指は、操作時に発生するトルクがアームに伝わらないようになっており、この特徴により、ペイロード側に負担を強いることなく、安全で確実な効率の良い容易なマニピュレータ操作を実現することができる。

【0034】これは、例えば、EVAロボットでEVA-Crew（船外作業員）と同等の力を持たせようすると、関節トルクは数10Nmが必要であり、関節は現状のモータ技術では10数cm径、～数kgのものとなり、マニピュレータとしては重量～50kg超、長さ～1m強となり、広い作業クリアランスを必要とし、更には、単腕および双腕での作業性が劣化する。また、現在の技術レベルでは、例えば、地上を含むロボット技術において、『指』に相当する機能が未熟であり、宇宙での作業のような確実な作業を要求される場合には、通常、

エンドエフェクタと操作物に専用のインタフェースを持たせるが、本発明では、これに更に改良を加えて、宇宙で期待される比較的容易な作業を小型アームにより効率的に遂行させるシステム構成としている。

【0035】また、本発明による再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムは、第6の特徴として、エンドエフェクタには広被写界深度（数mm～数m）の小型カメラを備え、また、専用ポートや専用操作物などには計測用小型マーカ（～10mm角）を備えている。このような特徴により、広い範囲の周辺領域のモニタ・観察を行えると共に、専用物体に対しては相対6自由度の位置姿勢計測を至近距離まで行うことができる。

【0036】例えば、従来の宇宙ロボットの手先精度は、5～10mm程度であるが、より精細な作業を行わせようとする場合には、2～3mmの絶対位置再現精度を持たせなければならない。広い温度範囲での動作・保存を前提とする宇宙マニピュレータでは、アーム長を数10cm程度に短くするか、または関節へ能動的な熱制御系を導入せざるを得ない。このため、従来技術においては、10～30cm離れたカメラで撮像し、相対位置姿勢を計測するため、接触部から離れた数cm角くらいのマーカが必要であったが、前述の本発明の特徴によると、周辺観察とマーカ計測という二つの要求を、エンドエフェクタに広被写界深度の小型カメラを備え、専用ポートや専用操作物には計測用小型マーカ（～10mm角）を備えていることにより、マニピュレータ・アームによる小型ロボットのシステム構成で実現されている。

【0037】このような様々な特徴を備えた本発明の再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムを用いて、システム構成を行うと、ロボットアームのマニピュレータシステムとしては、発展性のある優れた自在性と実用性を備えた多肢マニピュレータシステム構成が可能となる。

【0038】本発明の再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムにより、例えば、2肢型マニピュレータ・システムを構成する場合には、両端に結合ポートを有する複数の関節を中空のブームにより結合したアームと、操作指部と電気的結合部を有し前記アームの両端に備えられたエンドエフェクタと、前記中空のブームの内部に通信機能と関節制御機能を有する分散型制御計算機を備えた1肢型マニピュレータアームが構成され、この1肢型マニピュレータアームの2本が結合ポートの位置で任意に組み合わせられて、2肢型マニピュレータ・システムが構成される。ここでは、システム要素の部品・モジュールが共通化され、且つ簡素であることから低コスト化を図ることができる。

【0039】また、本発明の再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムによれば、軽量アームの再構成によるマニピュレータの任意構成によって、さまざまな作業への対応能力、船内・船外での歩行移動機能が備えられ

ることになり、実用性のある宇宙ロボットとして必要機能（導入に係るユーザ負担の少なさ、優れた運用性、ロボットとしての作業能力）を備えたマニピュレータ・システムを構成することができる。

【0040】

【発明の実施の形態】以下に、本発明を実施する場合の形態について、具体的に図面を参照して説明する。本発明の再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムを構成する場合のシステム構成例を、システムの概要と、各種のシステム構成の各要素について説明する。ここでのマニピュレータシステム構成の設計例として、3肢型マニピュレータ（3本のマニピュレータアームによる）システムの構成例を図5に示し、2肢型マニピュレータ（2本のマニピュレータアームによる）システムの構成例を図6に示す。

【0041】これらのシステムは、いずれもシステム構成としては同様なものとなるので、3肢型マニピュレータシステムのシステム構成を例として、システム要素の詳細な例を説明する。図5に示すように、1本のマニピュレータのアーム50は、全長が例えば80cmで、中央部と両端にそれぞれ2自由度の関節部（軸方向に回転する関節部と軸垂直に回転する関節部を組み合わせた関節部）51を備えたリンク機構として構成されたものであり、いわゆる6自由度のシリアルリンク構造とされている。そのアームの両端には、後述するように、操作指、カメラ、コネクタ等を備えたエンドエフェクタ52を装備している。また、アーム50のリンク機構を構成する中空のブーム53内には、関節駆動回路、ワイヤハーネスおよび、関節制御・ロボット全体の関節協調制御・操作監視・システム管理・通信インタフェース等を行う分散型制御計算機が配置される。なお、図5および図6において、57は宇宙機、56は宇宙機に設けられた結合ポートである。

【0042】アーム50の両端に備えられるエンドエフェクタ52には、歩行移動・再構成のための機械的な構造結合と、電気的な結合と、各種操作を行うため、複数の操作指、コネクタ部分およびCCDカメラが装備されている。また、アーム50のブーム53内には、電源線および高速シリアル通信バスから構成されるワイヤハーネスが貫通しており、両端のエンドエフェクタ52に外部との結合（結合ポートにおける結合）のためのコネクタが装備され、これにワイヤハーネスが接続される。

【0043】アーム50の基台部分となるロボット中心部54には、各アーム50のエンドエフェクタ52と結合して、アーム50内を電源線・高速シリアル通信バスを貫通させるための結合ポート55が3ヶ所に取り付けられている。また、図示しないが、ロボットアーム全体の各所には、その動作を監視するための振動センサが複数取り付けられている。振動センサにより検出された信号は、中空のブーム内に設けられた分散型制御計算機に

入力される。

【0044】また、このマニピュレータシステムによれば、後述するように、マニピュレータの複数のアーム50の制御によって、物体を把持した状態での歩行移動、結合状態および分離状態での複腕作業、複数のアーム50のシリアル結合状態での歩幅の拡大と障害物を回避するスネーク動作、また、3本のアーム50のパラレル結合状態での強力な力作業など、さまざまな作業に適用でき、従来になく多くの機能を実現することできる。更に、それぞれに両端に移動およびリンク機構の再構成のためのポートを持ち、直線・曲線の非可動のブームや受動関節を持ったブームを別途用意することにより、歩幅の拡大やスネーク動作の到達距離の拡大など、それぞれの作業に適したロボットアーム形態に容易に再構成することができる。

【0045】図6は、2肢型マニピュレータ・システムの構成例を示す図である。2本のマニピュレータアームを組み合わせる場合、図6(A)に示すように、T字型に組み合わせて結合し、第1番目のマニピュレータアーム61の中央部の関節部分に設けられている結合ポート61bに対して、第2番目のマニピュレータアーム62の両端部に設けられている一方のエンドエフェクタ62aを結合して、システムを構成する。これにより、第1番目のマニピュレータアーム61の端部に設けられているエンドエフェクタ61aと第2番目のマニピュレータアーム62の他方の端部に設けられているエンドエフェクタ62bとの間で、11自由度のロボットアームとして機能することになる。

【0046】また、図6(B)に示すように、2本のアームを直列に組み合わせて結合するようにもできる。この場合には、第1番目のマニピュレータアーム61の一方の端部の関節部分に設けられている結合ポート61bに対して、第2番目のマニピュレータアーム62の他方の端部に設けられているエンドエフェクタ62aとを結合して、システムを構成する。これにより、第1番目のマニピュレータアーム61の端部のエンドエフェクタ61aと第2番目のマニピュレータアーム62の端部のエンドエフェクタ62bとの間では、13自由度のロボットアームとして利用できる。

【0047】図7(A)および図7(B)は、マニピュレータのアームのブーム内部に設けられる電気系統の回路構成を示すブロック図である。図7(A)に示すように、エンドエフェクタ部71、関節部72およびブーム部73の基本要素から構成される1本のマニピュレータアームにおいて、中空のブーム部73の内部には、ワイヤハーネス63、関節駆動回路64、分散型制御計算機65、通信処理回路66が設けられている。分散型制御計算機65は、関節制御・ロボット全体の関節協調制御・操作監視・システム管理・通信インタフェース処理のデータ処理を行う。アームのリンク機構を構成するブー

ム部73の両端に設けられる関節部72には、関節モータ74が埋め込まれており、関節モータ74は分散型制御計算機65による関節制御プログラムに従って、関節駆動回路64により駆動制御される。なお、関節部72は、軸方向に回転する第1関節モータと軸方向と直角の方向に回転する第2関節モータの対から構成されており、それぞれの関節モータが、分散型制御計算機65による関節制御プログラムに従って関節駆動回路64により駆動制御される。

【0048】エンドエフェクタ部71には、光学系レンズアセンブリにより広被写界深度を持たせたCCDカメラ部67と、ポートと結合したシステム構成で使用する場合の電氣的結合のためのコネクタ部68が設けられている。更に、エンドエフェクタ部71には、各種の操作を行うための複数の操作指(図示せず)とその駆動機構の駆動モータ69が備えられている。これらの操作指の制御は、関節モータと同様に、ブーム部分73に設けられた分散型制御計算機65による駆動制御プログラムに従い、駆動制御回路を介して駆動制御される。

【0049】これらのコネクタ68部はワイヤハーネス63に接続され、ワイヤハーネス63は、電源線および高速シリアル通信バスにより信号配線数を少なくしたデータバス配線で構成されている。このワイヤハーネス63が、通信処理回路66と結合され、マニピュレータの間を貫通して配設される。

【0050】また、CCDカメラ部67は、図7(B)に示すように、CCD部76、前処理・A/D変換部77、焦点制御用レンズ駆動制御部78から構成されており、カメラ本体部76からの映像信号は、前処理・A/D変換部77において、デジタル化され画像処理され、その映像信号が通信処理回路を通してワイヤハーネス63の高速シリアル通信バスを介して伝送される。

【0051】次に、このように構成されているマニピュレータアームの複数の結合されたシステム構成によるマニピュレータシステムの操作例について説明する。図8～図10は、6自由度を持つ3本のマニピュレータアームを結合してマニピュレータ・システムを構成している場合の各種の作業モードによる形態を例示する図である。

ここでの1本のマニピュレータアームは6つの関節を持ち、6自由度を有するものであり、これを3本利用してマニピュレータシステムを構成している。図8および図9に示す作業モードの形態は、中心部分となる結合部によって3本のマニピュレータアーム(81, 82, 83)をそれぞれ結合している。移動モードは、図8(A)に示すような形態で利用するモードである。3本のアームを3本足として利用して走行し作業場所への移動を行う。また、この場合、例えば1本のアーム82で物資を把持しつつ、残りのアーム81およびアーム83を2本の足として利用して歩行するようにも利用できる。物資の移送に使われる形態の作業モードある。

【0052】片手作業モードは、図8(B)に示すような形態で利用するモードである。1本のアーム81を足として基台に固定し、1本のアーム83で(片手)作業を行い、もう1本のアーム82は、そのエンドエフェクタ部に設けられたCCDカメラにより1本のアーム83による片手作業の監視を行う。これにより、監視を行いながら作業が進められる。

【0053】また、図9(A)に示す作業モードの形態は、双腕作業モードである。このような形態で利用する作業モードでは、1本のアーム81を足として基台に固定しつつ、アーム82およびアーム83の2本のアーム(双腕)で物資を移動する作業を行う。つまり、双腕で作業対象物を把持し、移動を行い、又は、片腕で操作物の一端を固定し、もう一方の他の片腕で他端の位置決め操作を行う。多腕での操作を行う作業モードである。

【0054】大出力モードの作業モードの形態では、図9(B)に示すような形態で利用する。この場合、安定した大きな力を要する作業のため、アーム81およびアーム83の2本のアームを足として基台にしっかり固定し、他の1本のアーム82で作業を行う。強い力を要する作業を行う場合の作業モードである。例えば、コネクタの挿抜など大出力作業を行う場合の作業モードの形態である。

【0055】また、3肢型マニピュレータシステムのシステム構成の例であるが、直列に結合した作業モードの形態は、図10(A)に示すように、3本のアーム81、82、83を直列に結合して利用するモードである。つまり、遠隔場所での点検作業や操作のため、3本のアームを直列に結合して長い1本のアームとして利用する。この場合、例えば、アーム81およびアーム82の関節はブレーキをかけた状態で固定して利用し、アーム83のみの関節で強い先端力を利用できるようにする。遠隔場所での点検作業や、操作に適した作業モードである。この作業モードでは、端部の1本のアームのエンドエフェクタ部に設けられたCCDカメラにより点検作業を行い、また、端部の1本のアームのエンドエフェクタ部に設けられた操作指により作業を行う。

【0056】更に、直列に結合したシステム構成の他の作業モードの形態として、例えば、図10(B)に示すような分離協調モードがある。この分離協調の作業モードでは、アーム81およびアーム82の2本の直列に結合したアームによる作業と、1本のアーム83による作業とにより互いに協調して作業を行う。部品の受け渡し、組立の作業に好適に利用できる作業モードである。

【0057】図11は、多自由度シリアル・リンク・マニピュレータの先端自由度による操作例を説明する図である。前述したように、複数のアームを直列に結合してシステムを構成した作業モードの形態では、直列アームの多くの関節は直接に作業に関わらなくても十分な動作の自由度は得られるので、不要な多くの関節部の制御は

ブレーキで固定しておき、先端のアームの関節部による必要な自由度の制御で作業を行う。理解を容易なものとするため、図11に示すような2次元平面マニピュレータを例として説明する。この場合、平面運動の自由度は3であるから、図示するような6関節シリアルリンク形式のマニピュレータは3個の冗長自由度を持つ。

【0058】このシリアルリンクの6関節全てをアクティブにして先端力を加えようとなると、基部91の側の関節(92、93、94)への負荷が大きくなることから、図示するように、基部91の側から3個の関節92、関節93、および関節94による3自由度をブレーキで固定しておき、先端のエフェクタ部98の側からの関節97、関節96、および関節95による3自由度で操作することにより、より強い先端力を生むようにする。

【0059】一方、先端力は微力でも良いが、エフェクタ部による作業自体には相応のトルク力が必要となる場合がある。この場合、エフェクタ部の操作指をテコにして操作し、または、作業対象にエフェクタ部を取り付けさせ、その作業荷重を操作物に逃がしようにして操作することにより、エフェクタ部内またはエフェクタ部と操作物の間の内力で操作するようにして作業を行う。

【0060】図12は、エンドエフェクタの複数の操作指による内力での操作例を説明する図である。被覆の剥ぎ取り操作の例を、図12(A)～図12(C)に示している。この場合、内力操作ができるように、エフェクタの操作指を制御して、アームに操作による力・トルクが加わらないようにする。図12(A)～(C)において、120は被覆されている筐体部、121は被覆、122はエフェクタ部、123はアーム、124は操作指である。被覆の剥ぎ取りの場合、まず、図12(A)に示すように、アームのエフェクタ部122の操作指124を、筐体120と被覆121の間に差し込み、図12(B)に示すように、操作指124を開く操作を行う。開いた筐体120と被覆121の間に、図12(C)に示すように、更に操作指124差し込むようにして、被覆の剥ぎ取り操作を続行する。

【0061】また、ピンの引き抜き操作の作業では、図12(D)に示すように、取り付け面125からピン126を引き抜く場合には、エフェクタ部の補助アーム127の先端を取り付け面125に取り付けさせて、治具128により操作対象のピン126を把持し、この治具128を上方に移動することにより、ピン126の引き抜き操作を行う。これによりアーム123には、操作による力・トルクが加わらないようにする。

【0062】このような内力によるエフェクタ部の操作は、特に、無人宇宙機でのサービス作業を行う場合に極めて有効である。これは、操作対象となる物体自体に簡素な内力操作用インタフェース(取手、凹部、凸部等)を備えることにより、その操作を行いやすくする。この



結果、要求される作業力をエフェクタ部で担わせることができ、マニピュレータアームの先端力とエフェクタ部の作業力の分離が可能となる。

【0063】本発明による再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムによって宇宙用微力マニピュレータのシステム構成を行う場合には、例えば、次のようなシステム構成とする。

【0064】① 定常先端力の微力化による小型システム微小重力下で行うORU (Orbital Replacement Unit; 軌道上交換に対応した機器) 交換、軌道上点検、EVA, IVAなどの宇宙作業を詳細に検討・分析すると、5~10N程度の先端力、~5Nm程度のトルク（以下、先端力という）があれば、多くの作業は効率性を失わずに遂行できる。小さい先端力の宇宙マニピュレータ（微力マニピュレータ）が、地上ではあり得ないロボットとして有効であることが分かる。この結果、従来、小型宇宙マニピュレータの関節出力トルクを1.0数~数10Nmで構成してきた宇宙マニピュレータの関節を、5~10Nm以下にして、スリムで軽量のロボットができる。

【0065】② 内力によるエフェクタ作業

一方、先端力は微力でも良いが、エフェクタ部による作業自体には相応の力・トルクが必要である。このため、エフェクタ部の操作指をテコにして操作し、作業対象にエフェクタを取り付け、また、作業荷重を操作物に逃がすようにすることにより、エフェクタ内、またはエフェクタと操作物の間の内力で操作するようにして作業を行う。

【0066】これは、特に、無人宇宙機でのサービス作業を行う場合に極めて有効である。例えば、操作物体自体に簡素な内力操作用インタフェースを備えることにより、容易に実現できる。この結果、要求される作業力をエフェクタ部で担わせることができ、マニピュレータ先端力とエフェクタ作業力の分離が可能となる。

【0067】③ 瞬時の強い先端力の装備

宇宙作業では、締め最終トルキング、緩めの開始トルキング、異常状態の機構への短期間の或いは間欠的な力操作など、数秒以下の強い瞬時トルク・瞬時力を備えることが所望される。このためには、関節モータとして、DCモータやステップモータを用い、間接モータに瞬時（1~5sec）に大きな駆動電流を与えるようにする。これにより、熱的制約を考慮しつつ駆動できる。この場合、ギア部分の耐荷重性の制約があり、宇宙用小型マニピュレータの関節で多用されるハーモニックドライブでは、ラチェッティング・トルク制約となるが、具体的には定常の5倍程度の瞬時トルクを許容できる。

【0068】④ より強い定常先端力で運用する方法

マニピュレータが微力化するとしても、できるだけ先端力を大きくしたいとの意図から、特に、多自由度のシステム構成でシリアル結合した形態のマニピュレータ・シ

ステムは、その有効な運用方法として、通常考えられる特異点を積極的に活用した運用方法に加え、先端自由度だけで操作し、移動スパンの短い力を生む方法とする。

図11で説明したように、荷重の最も大きい基台部に近い関節は、操作に使わずにブレーキや制御（+減速器のback-drive-torque）で固定しておき、先端側の自由度だけで作業の操作を行うようにして運用する。

【0069】前述したように、本発明の再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムによると、マニピュレータアームの中空のブーム部分には、分散型制御計算機と高速シリアル通信バスによるワイヤハーネスが備えられ、高速内部通信機能によるワイヤハーネスの配線数が低減されている。

【0070】宇宙用微力マニピュレータのシステムを構成する場合において、その構成要素として、歩行移動機能・再構成機能を備えた宇宙用ロボットアームを実現するには、重量の点およびシステム構成の点から、ワイヤハーネス（マニピュレータ内部の配線）を低減させる必要があるが、従来方式によると、その配線数は100本を越えてしまう。このため、ワイヤハーネスをマニピュレータアームに通す場合、その関節部でのロストトルクは、例えば~10Nm以上に達してしまう。つまり、単にワイヤハーネスを曲げるためだけに、大きな関節力を要してしまう。また、柔軟な関節のシリアルリンクの位置補償するためには、幾つかのカメラを装備することが必要になるが、このためにもワイヤハーネス数が増大する。歩行移動や再構成機能を実現するためには、基台部で結合される電力線・信号線コネクタを着脱する必要があるが、ハーネス数が多いとマニピュレータ先端部および移動・再構成ポート部に大型のポートを備えなければならない。

【0071】このような問題は、本発明の再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムによれば、分散型制御計算機として、例えば、組込型のマイクロコンピュータ（32ビット処理のRISC計算機）と、データ通信用の汎用インターフェイス（USB; IEEE1394）を用いる高性能シリアル通信バスを装備することにより解決している。

【0072】エフェクタ部のCCDカメラ部67によって撮影された映像信号は、デジタル化され、ブーム部分に設けられる分散型制御計算機においてミドルウェア（中間信号処理部）によるJPEG圧縮を行って、高速シリアル通信バスによりシリアル転送することにより、通信処理による遅延時間は数百msec以下で、任意の映像チャンネルの映像をテレメトリや高度な画像処理計算機に送信することができるよう構成できる。

【0073】また、マニピュレータアームのブーム部の内蔵した分散制御計算機により関節制御を行わせ、関節間およびマニピュレータアームの間の協調制御のための制御信号の転送は、同様にして、高速シリアル通信バス

を介して転送する。エフェクタ部に取り付ける様々な特殊機器の制御信号の伝送についても、バス・インタフェースを標準化することにより、高速シリアル通信バスで制御信号を伝送し制御することができる。この結果、アーム内のワイヤハーネスは最小で数本とすることができ、各所からの映像信号の伝送を含めても実用的に10～20本程度に低減でき、低いワイヤハーネスの曲げのロス・トルクと、移動・再構成に関する機器を著しく小型化し、ロボット・システムとして整合の取れたものとする事ができる。

【0074】次に、移動用と操作用を兼ねたエフェクタ部の構成について、具体的に説明する。マニピュレータ先端部に装備するエフェクタ部は、移動ポート機能と最大限の操作機能を備え、モジュール化による新たな結合部材を要しない構成としている。図13～図16は、エンドエフェクタの構成とその操作指による各種の操作例を説明する図である。図13はトラス操作を説明するエンドエフェクタの部分断面図である。図13(A)に平面図を示し、図13(B)に正面図を示している。図において、130はエンドエフェクタ、131はアーム、132は操作指、133はCCDカメラ、134は照明用の発光ダイオード、135はコネクタである。図示するように、トラス操作では、エンドエフェクタ130の3本の操作指132により、トラス構造の把持部を掴む。トラス構造の把持部は、3本の操作指132の位置の合わせて、切り欠き部が設けられており、これに適合するように3本の操作指132により把持する。

【0075】図14はテザーアンカー操作を説明するエンドエフェクタの部分図である。図において、130はエンドエフェクタ、132、132aは操作指、133はCCDカメラ、134は照明用の発光ダイオード、135はコネクタ、141は第1のアンカー、142は第2のアンカー、143は第3のアンカーである。図示するように、アンカー操作では、エンドエフェクタ130の1本の操作指132aにより、アンカーの爪の操作を行う。図14(A)の操作例では、アンカーの爪がバネ力により引き戻されているので、操作指132aを上方に移動させることにより、アンカー141の爪を操作する。図14(B)に示すように、第2のアンカー142の例は、操作指による操作は行わなくてもよい例である。また、図14(C)に示すように、第3のアンカー143の例では、アンカーの爪がバネの力により操作されないで、操作指132aにより操作する。

【0076】図15はマイクロ・コンカル操作を説明するエンドエフェクタの部分断面図である。図15(A)に示すような形状のマイクロ・コンカル150を、エンドエフェクタ130の3本の操作指132により把持する場合、マイクロ・コンカル150の形状から、そのくびれ部分を3本の操作指132により把持するようにして掴む。図において、130はエンドエフェクタ、13

1はアーム、132は操作指、150はマイクロ・コンカルである。この場合、図15(B)および図15

(C)に示すように、3本の操作指132の取り付け位置と、操作対象のマイクロ・コンカルのくびれ位置の位置合わせを行って把持する。

【0077】図16はハンドレール操作を説明するエンドエフェクタの部分断面図である。この場合の操作では、図16(A)に示すような形状のハンドレール160を、エンドエフェクタ130の3本の操作指132により把持する。この場合、図16(B)および図16(C)に示すように、ハンドレール160の形状から、1本の操作指でハンドレール160上面の凹部に係合させ、他の2本の操作指を反対側の切り欠き部分に係合させて、これらを掴むようにして把持する。なお、前述の場合と同様に、図において、130はエンドエフェクタ、132は操作指、160はハンドレールである。この場合にも、3本の操作指132の取り付け位置と、操作対象のハンドレール160の凹部および切り欠き部の位置合わせを行って把持する。

【0078】また、前述したように、本発明の再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムでは、エンドエフェクタに備えるCCDカメラとして、広被写界深度カメラを備えるようにする。広い動作温度範囲・保存温度範囲で使用する宇宙用マニピュレータシステムの関節では、熱的な信頼性を確保するために遊びの多い設計が多用される。このようなシンプルな設計では、特に、多自由度のシリアル結合のマニピュレータ・システムを構成する場合、先端位置再現性について、高い絶対精度を期待することは困難である。そこで、ロボット作業に要求される位置精度は操作物との相対精度であることから、視覚計測による相対精度を簡易に確保する方式として、広被写界深度カメラを採用する。

【0079】また、自動機械操作の対象(R-ORUや移動ポート)には、相対位置計測用のマーカを付けるのが有効であるが、現状のような大型(5～40cm)のものを避けるために、エンドエフェクタに設けるCCDカメラと近接して計測できる小型(～1cm)マーカ方式を用いる。把持したORU等の取付に関しては、ORUとWork siteの相対位置を、他のアーム上のカメラで計測して位置制御を行うことで、従来使用している大型(従来、数cm～数10cm)の挿入ガイドを小型化することができる。このためには、エンドエフェクタのCCDカメラ部の光学系は、被写界深度を広く取り、数mmの接触直前までの相対位置計測を行え、且つ、他のアームが操作しているときの状況を監視・誘導するために数mまでの視認性を確保させるものとする。このようないわゆる暗い光学系は、地上ロボットでは適していないが、特に、宇宙作業のような比較的ゆっくりした操作を基本とするシステムに対して適用できるものである。

【0080】また、従来において、作業性の向上のため、手先に柔らかさを持たせるためには、受動的柔軟性機構を入れたり、コンプライアンス制御（手先の柔らかさをソフトウェア的に実現するように、力・トルクセンサ情報により各関節を協調制御する方法）を行ってきた。このような受動的柔軟性機構は、ロボット環境モデルが確定できなくなるため、遠隔操作上は望ましくなく、また、手先に力・トルクセンサを持たせる方法では、エンドエフェクタの機構が複雑化する。

【0081】したがって、宇宙用のロボットアームでコンプライアンス制御が期待される操作では、マニピュレータ姿勢が大きく変化しないことに注目し、多自由度ロボットによりセンサ感度を確保する姿勢を取り、各関節のサーボを上記の分散計算機によりプログラマブルにして制御する。そして、各関節に内蔵したトルクセンサを用いて、指定の柔らかさと減衰性を制御する方法を使う。

【0082】また、自動機械操作の確実性と効率を向上させ、ロボットの暴走に係るシステムを簡略にするためには、オンボード監視系を導入する。簡単に、オンボード自動監視を行うには、監視カメラによるマーカ計測に従ったロボット・操作物のリアルタイム座標管理が挙げられる。制御システムが独立に切り替えられれば、双腕機能により、一方のアームでの作業中に他のアームにより監視するようにできる。これにより、自動機械操作の確実化と効率化とロボットの暴走に係るシステムのロバスト化・簡略化が可能である。

【0083】また、本発明による再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムによれば、信頼性に係るシステム設計を行うことができる。宇宙機器は高価で修理し難いものであるために、通常、単一故障点を排して設計される。従来の宇宙用のマニピュレータシステムにおいては、有人システムでは、関節故障時にEVA作業により交換できるようにしており、また、無人システムでは、現状はいくつかの単一故障点を持ったシステムとしている。前述したように、冗長化のための多重巻き線関節や駆動アンプの「N out of M」冗長は、複雑化を招き、システム構成法として好ましくない。一般に器用さと冗長性は両立が難しく、本発明によるシステム構成では、基本的には、冗長性のない簡素な要素で構成されたマニピュレータアームの複数本により、システムを構成する方式としている。ロボットシステム全体の構成では、使用する宇宙機システムの要求に応じて、以下のようにさまざまに対応することができる。

【0084】例えば、宇宙往還機や小型プラットフォーム、軌道上作業機などのような小規模な宇宙システムで、マニピュレータシステムを用いる場合に、2肢型マニピュレータでシステム機能要求を満たすようにシステム構成を設計できれば、更に、1本のマニピュレータアームを追加して、3肢型マニピュレータシステムによる

構成のロボットアームとしてシステム設計を行う。故障がない場合には3肢型マニピュレータシステムの構成で運用性をあげて使用し、故障時には効率を落として2肢型マニピュレータシステムの構成で運用する。また、システム機能要求が3肢型マニピュレータでシステム機能要求を満たすようにシステム構成を設計できれば、軌道上待機用に1肢のマニピュレータアームを備え、計4肢型のマニピュレータでシステムの構成とする。

【0085】このような再構成型の多肢マニピュレータ・システムとすることで、長寿命の宇宙機システムの場合には、補給回収系により故障したマニピュレータを回収・補給することができ、また、宇宙ステーションや宇宙太陽発電プラットフォームのような大型システムでは、信頼性と運用性の要求から全体として必要マニピュレータ数を決定し、作業に応じて3肢、2肢、或いはより多い多肢システムとして使用することができる。

【0086】また、実用において有効となるロボットを創出してゆくには、発展性を備え汎用性のあるシステム設計を行って、それが順次更新して行けることが重要である。本発明による再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムでは、従来のような中央/下位計算機システムの構成ではなく、分散型システムであり、下位互換性のあるより性能の高い通信機能やエンドエフェクタ機能を持った高性能マニピュレータを新規に追加することで、旧マニピュレータも使用しつつ、システムを陳腐化させず発展させてゆくことができる。これは、従来には見られない大きな利点である。

【0087】以上に説明したように、再構成型の宇宙用多肢マニピュレータ・システムにより、所期の目的を達成させる宇宙ロボットシステムを構成することができる。このようなロボットアームシステムは、軌道上のような微小重力～無重力下で有効であると共に、同様の概念により重力（ $1/6$ ）gの月面や、重力（ $1/2$ ）gの火星表面等での作業ロボットにも容易に拡張適用できる。また、作業対象の大きさによりサイジングを変更することは容易である。

【0088】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明の再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムによれば、ロボットアームのシステム構成によって、システムは、無人往還機や無人プラットフォーム上の宇宙実験・システム点検保守、或いは小型ミッションでのロボットによる組立や宇宙実験などに使用可能である。また、有人システムに利用すると、船内での簡単な宇宙実験作業における搭乗員作業の軽減や、船外での簡単な点検保守・宇宙実験の支援作業、更に無人運用時のロボットによる自動運用などに適用できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来のスペースシャトル用Shuttle-RMSのロボットアームを説明する図である。

【図2】開発中の宇宙ステーション用JEMRMS親アームを説明する図である。

【図3】開発中の宇宙ステーション用のSSRMSを説明する図である。

【図4】従来の単腕・複腕マニピュレータを持つシステムを説明する図である。

【図5】本発明に係る再構成型宇宙用多肢マニピュレータ・システムの実施の形態の3肢型マニピュレータシステムの構成例を示す図である。

【図6】同じく実施の形態の2肢型マニピュレータシステムの構成例を示す図である。

【図7】マニピュレータのアームのブーム内部に設けられる電気系統の回路構成を示すブロック図である。

【図8】6自由度の3本のマニピュレータアームを結合してマニピュレータ・システムを構成している場合の作業モードの第1の形態を例示する図である。

【図9】6自由度の3本のマニピュレータアームを結合してマニピュレータ・システムを構成している場合の作業モードの第2の形態を例示する図である。

【図10】6自由度の3本のマニピュレータアームによりマニピュレータ・システムを構成している場合の作業モードの第3の形態を例示する図である。

【図11】多自由度シリアル・リンク・マニピュレータの先端自由度による操作例を説明する図である。

【図12】エンドエフェクタの複数の操作指による内力での操作例を説明する図である。

【図13】トラス操作を説明するエンドエフェクタの部分断面図である。

【図14】テザーアンカー操作を説明するエンドエフェクタの部分図である。

【図15】マイクロ・コニカル操作を説明するエンドエフェクタの部分断面図である。

【図16】ハンドレール操作を説明するエンドエフェクタの部分断面図である。

#### 【符号の説明】

50 アーム

51 関節部

52 エンドエフェクタ

53 ブーム

54 ロボット中心部

55, 56 結合ポート

57 宇宙機

61, 62 マニピュレータアーム

61a, 62a, 62b エンドエフェクタ

61b 結合ポート

63 ワイヤハーネス

64 関節駆動回路

65 分散型制御計算機

66 通信処理回路

67 CCDカメラ部

68 コネクタ部

71 エンドエフェクタ部

72 関節部

73 ブーム部

74 関節モータ

76 カメラ本体部

77 前処理・A/D変換部

78 焦点制御用レンズ駆動制御部

81, 82, 83 アーム

91 基部

92, 93, 94, 95, 96, 97 関節

98 エフェクタ部

100 ロボットアーム

120 被覆されている筐体部

121 被覆

122 エフェクタ部

123 アーム

124 操作指

125 取り付け面

126 ピン

127 補助アーム

128 治具

130 エンドエフェクタ

131 アーム

132, 132a 操作指

133 CCDカメラ

134 照明用の発光ダイオード

135 コネクタ

141 第1のアンカー

142 第2のアンカー

143 第3のアンカー

150 マイクロ・コニカル

160 ハンドレール

201 補給部与圧区

202 マニピュレータ

203 精密作業用ロボットアーム

204 補給部曝露区

205 エアロック

206 曝露部

207 与圧部

301 宇宙ステーション

302 モービルトランスポーター

303 モービル・リモート・サービス・ベース・システム

304 宇宙ステーション・リモート・マニピュレータ

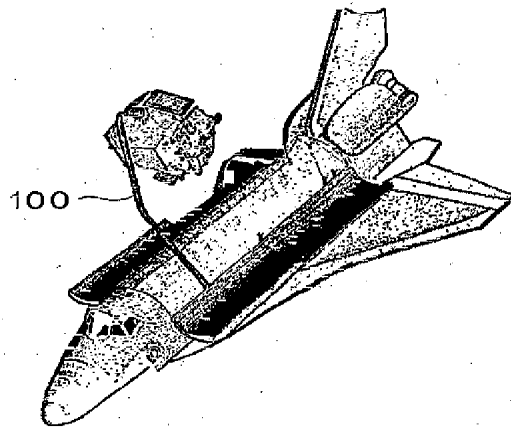
305 ロボットアーム

401 ロボットアーム

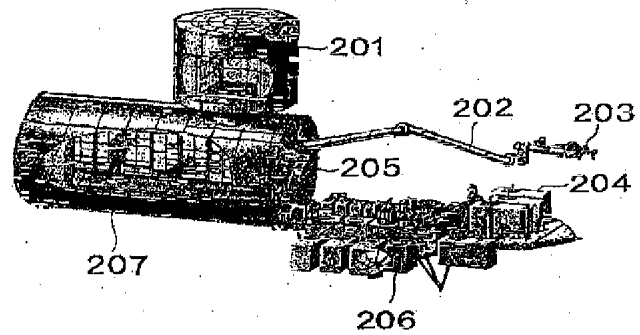
402 アームモニターカメラ

403 アームハンドカメラ

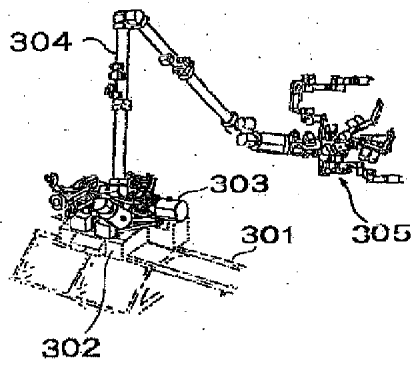
【図1】



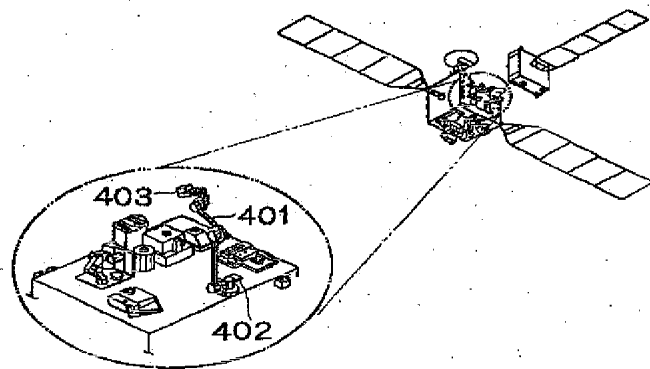
【図2】



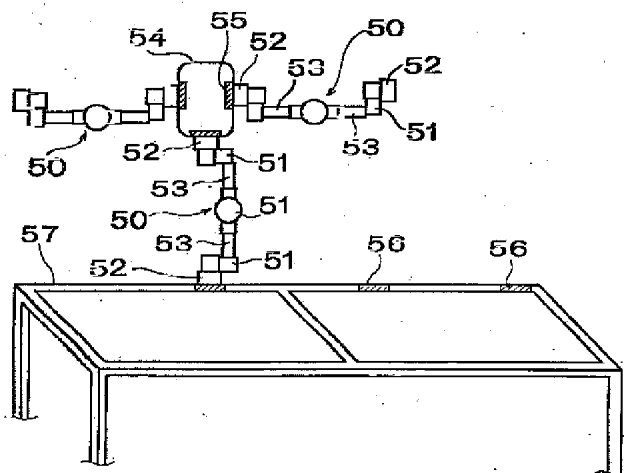
【図3】



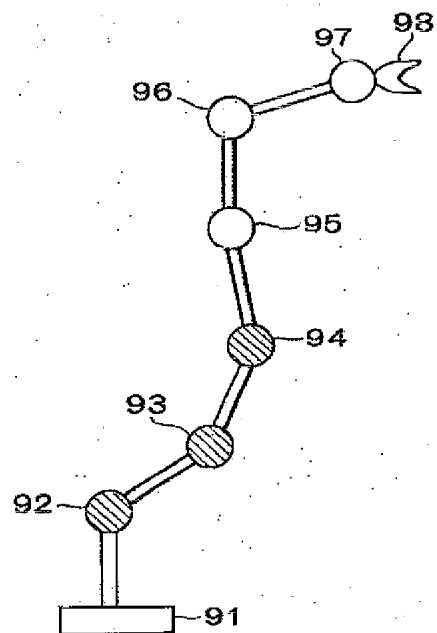
【図4】



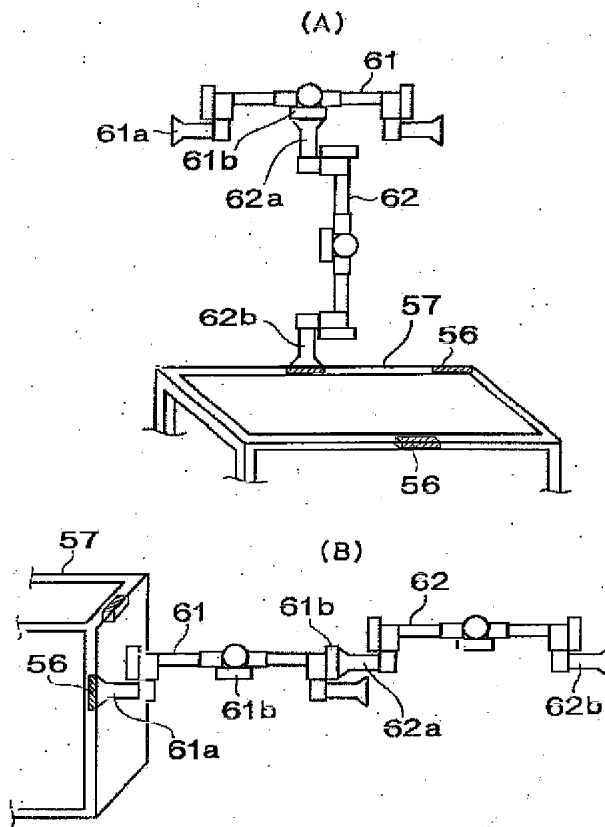
【図5】



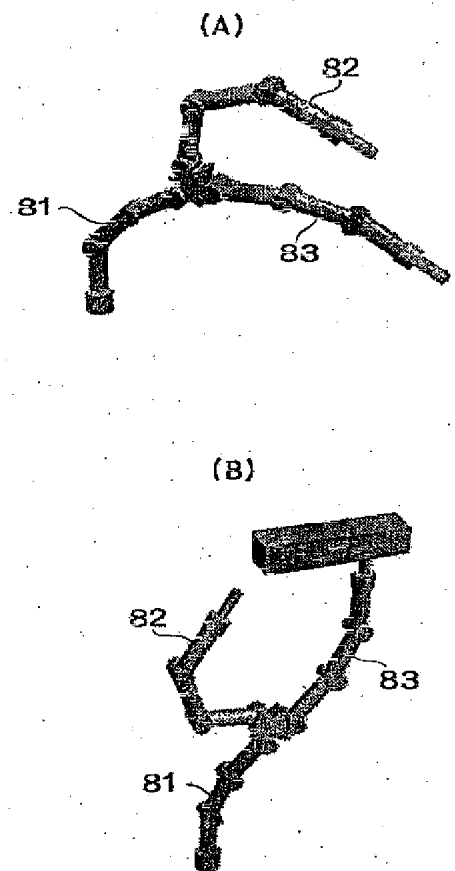
【図11】



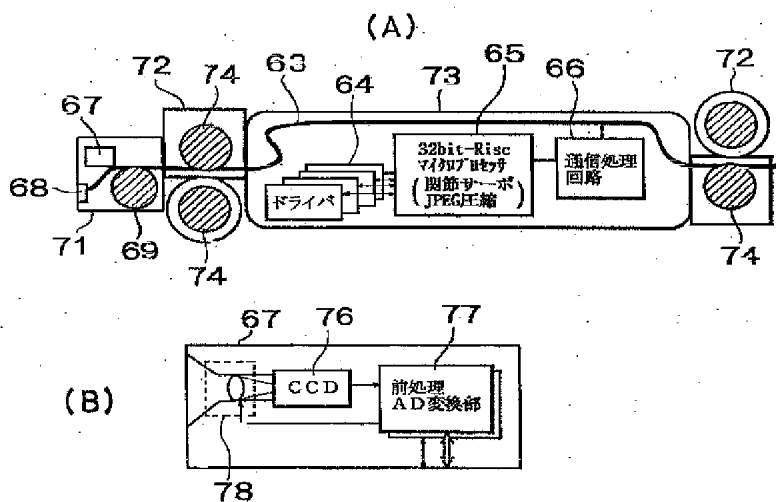
【図6】



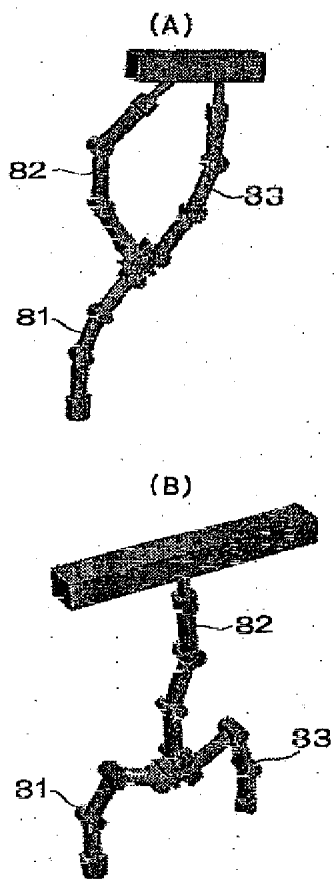
【図8】



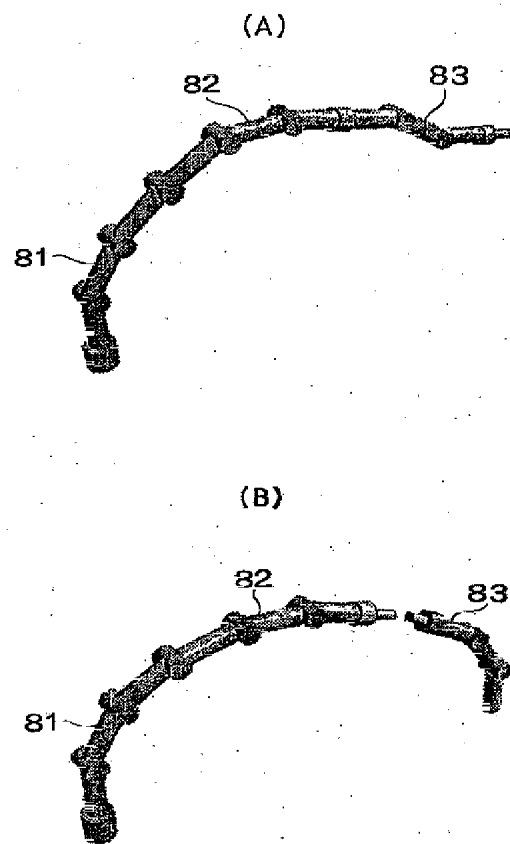
【図7】



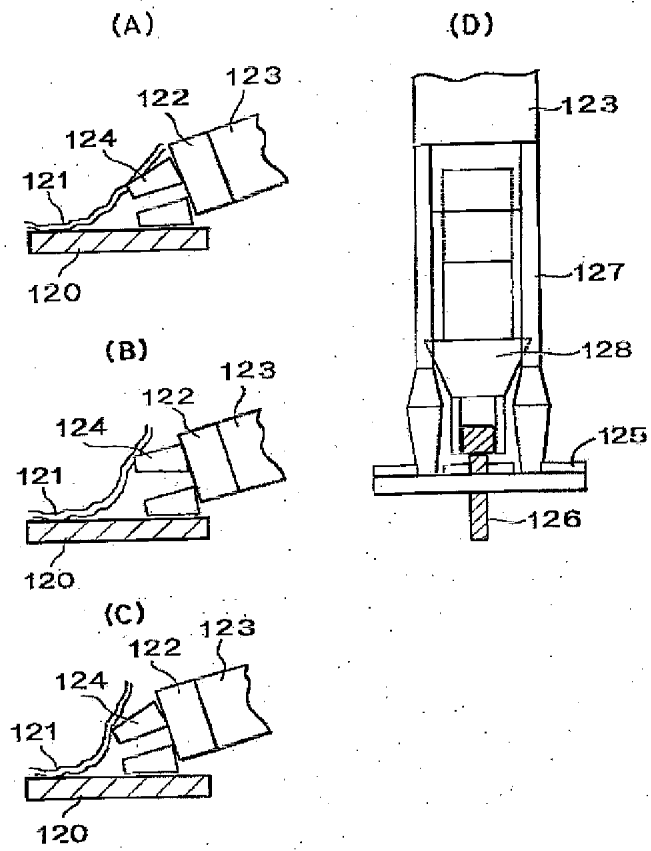
【圖9】



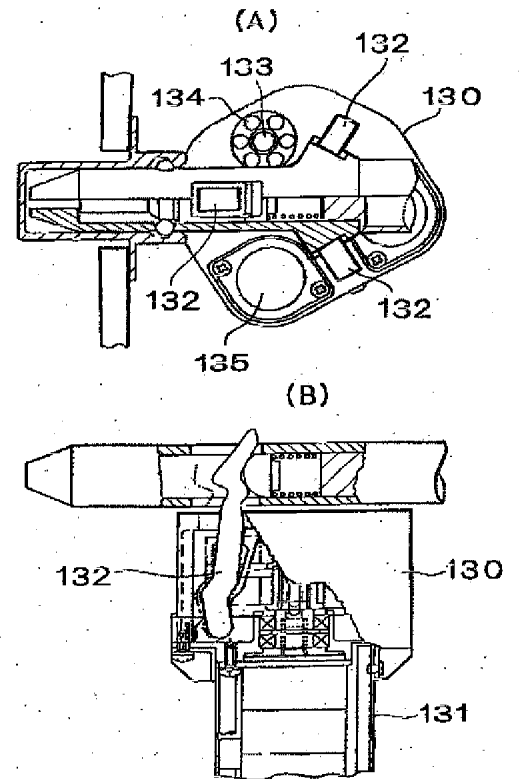
【圖10】



【図12】

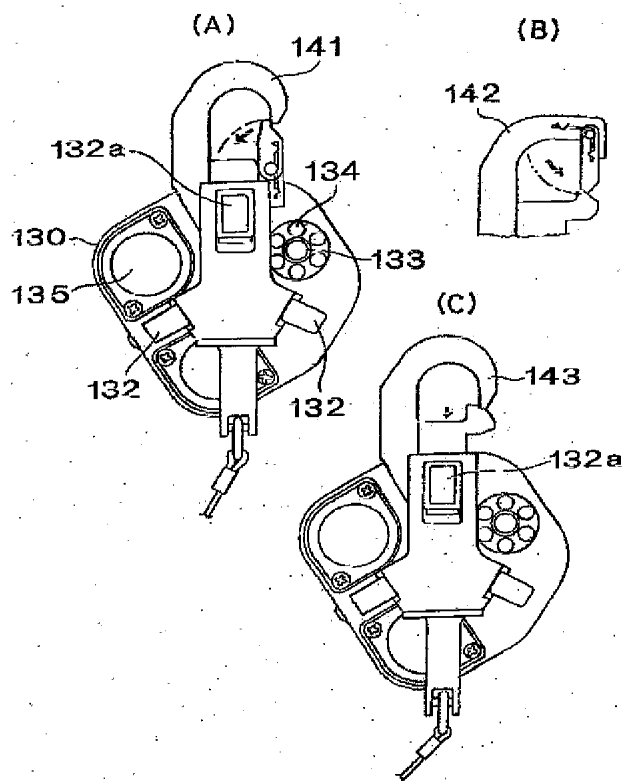


【図13】

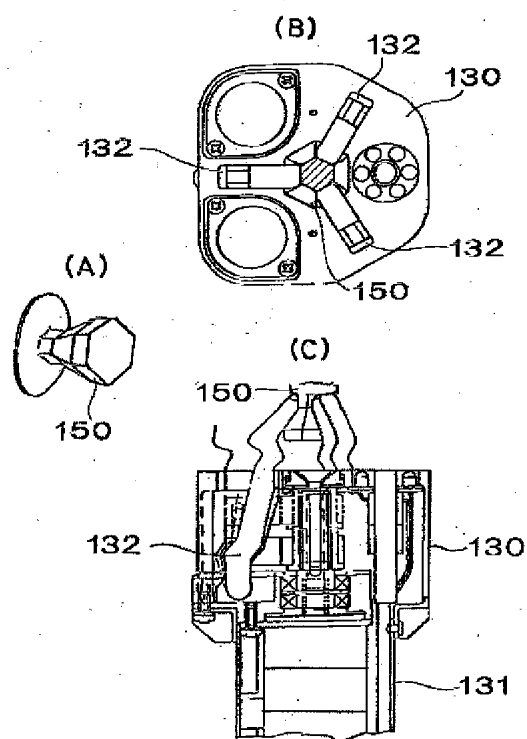




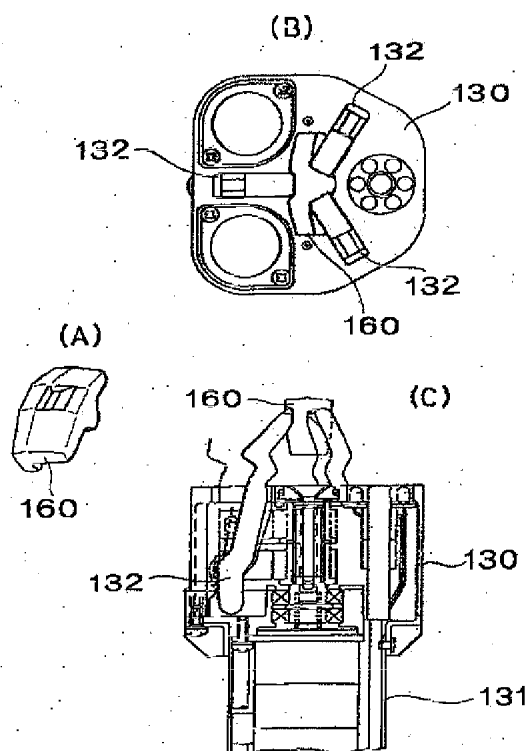
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 下田 孝幸  
茨城県つくば市千現2丁目1番1号 宇宙  
開発事業団筑波宇宙センター内

(72)発明者 狼 嘉彰  
東京都目黒区大岡山2丁目12番1号 東京  
工業大学学部機械宇宙学科内